

El repte d'aprendre i ensenyar forces

The challenge of learning and teaching forces

Àngela Garcia Lladó (angela.garcia@ub.edu) Departament d'Educació Lingüística i Literària i de Didàctica de les Ciències Experimentals i de la Matemàtica. Universitat de Barcelona.

L'ensenyament-aprenentatge de les forces és un dels temes eterns de la didàctica de les ciències. Se n'ha fet molta recerca però alhora continua sent un dels que, en general, comporta més problemes a l'alumnat. Les reflexions i contingut que es presenten en aquest article tenen el seu origen en el treball d'una tesi doctoral que s'està elaborant a la Universitat de Barcelona (UB). L'objectiu de la recerca és millorar el procés d'ensenyament-aprenentatge de les forces de l'alumnat del Grau de Mestre de Primària i de facilitar-los eines perquè puguin ajudar a millorar l'aprenentatge de l'alumnat de primària quan siguin mestres. Es fa una síntesi de les diferents recerques que s'han fet en el camp de la didàctica de les ciències i que poden tenir aplicacions molt pràctiques a l'aula. Es comença amb una revisió de les idees pròpies que les persones tenen sobre forces i moviment. A continuació, es posa sobre la taula quin es considera que és l'objectiu d'aprenentatge escolar pel que respecta a les forces. Amb el punt de partida i l'objectiu d'aprenentatge clars, es contraposen algunes propostes de possibles camins a seguir fent èmfasi dels punts que tenen en comú i, per tancar, es comparteix una de les eines que durant la recerca ens han estat útils per a avaluar en quin punt de l'aprenentatge de la idea científica es troba el nostre alumnat.

Paraules clau: aprenentatge de forces, models mentals, formació de professorat

How students learn forces is one of the eternal subjects in science education research. A lot of research has been done on that topic but at the same time, forces seem to be one of the difficult topics in science education. The reflections and content presented in this article have their origins in the work of a doctoral thesis that is being developed at the University of Barcelona (UB). The aim of the research is to improve the teaching-learning process on forces of Primary Education Degree student teachers. We want to provide them with tools so that they can help the learning of their future students. In this article we synthesize the conclusions of different studies done in this field that can have very practical applications in the classroom. It begins with a review of people's ideas on forces and movement. After that, we focus on which learning objectives on forces are pursued in schools. With a clear starting point and learning objectives, a few proposals of possible learning paths are contrasted, emphasizing on their commonalities. To conclude, we present one of the tools developed during the research study, which has been useful to evaluate at what stage our students are in their learning paths.

Key words: forces teaching and learning, mental models, pre-service teacher education

LA DIFICULTAT DE L'APRENTATGE DE LES FORCES

Les forces i el moviment són presents en totes les etapes de l'educació obligatòria però, tot i així, podem veure que l'alumnat que arriba al Grau de Mestre d'Educació Primària encara té moltes idees alternatives a les concepcions científiques del què

són les forces i els seus efectes sobre els objectes, tot i que de vegades les expressen fent servir terminologia científica. Així ho veiem cada any, amb l'alumnat que cursa l'assignatura de 'Didàctica de la Matèria, l'Energia i la Interacció' (DMEI) del 2n curs del Grau de Mestre d'Educació Primària de la Universitat de Barcelona. Durant el semestre que dura l'assignatura està previst treballar com

s'aprenen i ensenyen les principals idees de física i química que es treballen a l'Educació Primària. Però, any rere any, l'alumnat les ha d'aprendre de nou ja que normalment arriba amb idees no científiques des de l'educació obligatòria. Una particularitat de la majoria de l'alumnat que cursa aquest grau és que ha escollit fer itineraris de batxillerat no científics. Per tant, no han estudiat ciències des de 3r o 4t d'ESO.

De tots els continguts de DMEI, els del bloc de forces i moviment són uns dels que sempre es consideren més dificultosos. En aquest context, s'està fent un treball de recerca per a poder millorar el procés de l'ensenyament-aprenentatge d'aquest bloc de contingut.

L'objectiu principal d'aquest article és compartir amb el professorat de ciències, tot allò que la didàctica ha estudiat i estudia, encara avui, sobre l'ensenyament-aprenentatge de les ciències en general i de les forces en particular. Per fer-ho, comencem amb un repàs de les idees que l'alumnat ha construït de manera espontània sobre forces i moviment a banda de l'educació escolar rebuda. A continuació, ens centrarem en els objectius d'aprenentatge de l'educació escolar sobre forces. Què considera la didàctica que ha de saber l'alumnat que acaba l'educació obligatòria sobre les forces?

Amb el punt de partida i l'objectiu d'aprenentatge clars, comentarem quins poden ser alguns dels camins que proposen expertes i experts en didàctica de les ciències per a facilitar a l'alumnat aquest aprenentatge i com pot ajudar-los el professorat. I això, ho compararem amb el que mencionen els currículums actuals. Per acabar, posarem sobre la taula algunes de les eines que durant la recerca ens han estat útils per a avaluar en quin punt de l'aprenentatge del model científic es troba el nostre alumnat.

EL PUNT DE PARTIDA: EL MODEL MENTAL

La comunitat científica utilitza models per interpretar el món. Tot i que a la literatura trobem diferents definicions sobre què és i què caracteritza un model científic (Oh, Oh, 2011; Espinet et al., 2012), totes coincideixen a afirmar que un model és aquella simplificació del món que permet a la comunitat científica descriure'l, predir-ne esdeveniments i interpretar-lo. De la mateixa manera, per a explicar com les persones interpretem el món, s'han definit els models mentals. Aquests són les eines que utilitzem per

interpretar i comprendre els fenòmens naturals que ens envolten, a partir de les percepcions que en tenim (Greca & Moreira, 2001).

Aquests models mentals, els construïm de manera espontània i tenen l'objectiu d'explicar el nostre entorn i de resoldre problemes quotidians. Per tant, són la base de la nostra comprensió de l'entorn. Tothom, encara que no rebi educació científica, construeix els seus propis models mentals per a poder donar sentit i coherència als diferents fets o esdeveniments amb què interactua en el seu entorn. Això ens permet interpretar-los, intervenir-hi i preveure'n els efectes de les nostres intervencions.

Tot i que l'efecte de les forces és evident i mesurable en els canvis de moviment o de forma dels objectes, definir què és una força ha estat una tasca difícil també per a la comunitat científica al llarg de la història (Jammer, 1957). Des d'Aristòtil fins a Newton, la definició científica de què era una força ha anat evolucionant. En els inicis es veia com una propietat o un 'desig - voluntat' dels objectes, però aquests models es van anar modificant per passar a descriure les forces com una interacció entre cossos que té unes característiques determinades i que produeix uns efectes concrets sobre els objectes. Dues d'aquestes característiques són molt poc intuïtives. La primera és que les accions que s'exerceixen entre els dos cossos tenen la mateixa intensitat. La segona és que aquestes accions són simultànies i això implica que mai es pot donar una sense l'altra.

Les idees sobre les forces que componen els models mentals de l'alumnat, han estat àmpliament estudiades i analitzades per multitud de recerques des dels anys 80 (Driver et al., 1985). A continuació, llistem les més destacades.

La força i els objectes

- La força és una propietat d'un objecte i no una característica de la interacció entre dos objectes (Reiner et al., 2000).
- Les forces són causades per éssers vius o objectes actius (Halloun & Hestenes, 1985).
- Les forces només poden ser causades per algun objecte que toca un altre objecte (Halloun & Hestenes, 1985).
- El pes, el moviment o la rigidesa d'un objecte són importants per a determinar la força que aquest és capaç de fer (Ioannides & Vosniadou, 2001).

La força i el moviment

- Un objecte en moviment té una força a dins que és la que el manté en moviment. Quan aquesta força s'acaba (fet que passa de manera natural al cap d'una estona), l'objecte s'atura (Halloun & Hestenes, 1985; Reiner et al., 2000; Ioannides & Vosniadou, 2001).
- Si hi ha moviment, hi ha una força actuant. Si no hi ha moviment, no hi ha cap força actuant (Halloun & Hestenes, 1985; Ioannides & Vosniadou, 2001).
- Una velocitat constant resulta d'una aplicació constant de força. Una acceleració constant requereix una força que varia de manera constant (Halloun & Hestenes, 1985).
- El moviment d'un objecte és proporcional a la força que actua sobre seu (Halloun & Hestenes, 1985).

L'OBJECTIU D'APRENTATGE: EL MODEL CIENTÍFIC ESCOLAR

Com ja hem vist, els models científics s'utilitzen per interpretar i explicar el món. El nostre objectiu durant el procés d'ensenyament - aprenentatge ha de ser, doncs, que l'alumnat sigui capaç d'anar modificant i reconstruint els seus propis models mentals per tal que siguin més coherents i propers als que ha adoptat la comunitat científica per interpretar el món.

Des de la didàctica de les ciències, s'ha treballat per definir com han de ser aquests models als que aspirem que arribi l'alumnat, definint així el model científic escolar (MCE). Hi ha un acord entre diversos experts en didàctica de les ciències que afirma que aquest model hauria d'estar basat en poques idees però molt centrals, que es complementin entre elles, i que siguin útils a l'alumnat per comprendre el seu entorn. Aquestes idees s'hauran d'anar desenvolupant i fent més complexes a mesura que vagi avançant l'escolaritat de l'alumnat (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003; Harlen et al., 2010). També hi ha un acord en considerar que l'objectiu de desenvolupar aquest MCE no és únicament construir uns coneixements en particular, sinó que fer-ho ha de permetre a l'alumnat anar desenvolupant certes habilitats com la capacitat d'argumentar a partir d'evidències o d'indagar sobre fenòmens del seu entorn. En definitiva, anar desenvolupant la seva competència científica.

En el cas de les forces i el seu efecte sobre el canvi de moviment o forma dels objectes, en els últims anys, s'han posat sobre la taula diferents

propostes sobre quines haurien de ser les idees que fonamentin aquest model escolar.

En el document '*Principles and Big Ideas of science education*' (Harlen et al., 2010) es proposen 14 grans idees per a desenvolupar el contingut de les ciències naturals al llarg dels currículums de l'educació obligatòria, així com un seguit de principis que haurien de guiar tota l'educació científica independentment del contingut que es tracti. Una vegada exposades aquestes grans idees, es presenten un seguit d'idees més concretes i simples des de les que partir fins a arribar a aquestes més complexes i generals. Aquest document s'ha revisat l'any 2015 editat amb el títol de '*Working with Big Ideas of Science Education*' (Harlen et al., 2015).

De les 14 grans idees que es presenten, la 2 i la 3 són les que es relacionen amb les forces i el moviment.

- 2. '*Objects can affect other objects at a distance.*' (Els objectes poden afectar altres objectes a distància.)
- 3. '*Changing the movement of an object requires a net force to be acting on it.*' (Canviar el moviment d'un objecte requereix que una força neta actuï a sobre seu.)

A més d'aquestes idees, també s'hi presenten principis que haurien de guiar l'educació científica escolar. Els dos que pensem que cal destacar són que l'objectiu principal d'educar científicament a l'alumnat ha de ser fer-lo 'capaç de prendre decisions i actuar en relació al seu propi benestar, el de la societat i el del medi ambient'. Quan concreta aquest ampli objectiu en d'altres més específics, parla de fomentar actituds científiques i 'capacitats científiques relacionades amb la recollida i l'ús d'evidències' (Harlen et al., 2010).

En altres línies de recerca també es fan investigacions per trobar quines poden ser les millors maneres perquè l'alumnat pugui arribar a construir aquest MCE de forces. Un seguit d'equips de recerca desenvolupen, analitzen i reflexionen des de fa uns anys sobre el concepte de les progressions d'aprenentatge (Alonzo, 2012). Les progressions d'aprenentatge són una proposta que organitza les diferents formes de pensar o entendre un tema determinat per part de l'alumnat, assenyalant un camí preferent per passar de les idees més simples i concretes cap a les més abstractes i complexes (NRC, 2007). El seu objectiu és donar una eina al professorat perquè pugui ajudar l'alumnat a construir aquest MCE. Tot

i ser una línia de recerca encara en construcció i avaluació, està oferint alguns resultats interessants. En el cas de les forces i moviment, comptem amb alguns estudis sobre quina podria ser aquesta progressió d'aprenentatge (Alonzo, 2009). En base als estudis fets, s'elaboren eines molt més pràctiques de cara al professorat, com ara els mapes de progrés que indiquen quins d'aquests camins són preferents per a l'aprenentatge (AAAS, 2013). A partir d'aquests mapes es poden elaborar els currículums que portin a definir els objectius per a cada etapa educativa.

DEL MODEL CIENTÍFIC ESCOLAR AL CURRÍCULUM

Un dels objectius principals del treball de la didàctica de les ciències és orientar al professorat per planificar el procés d'ensenyament-aprenentatge de les ciències a les seves aules. Una de les eines que organitza i dirigeix aquests processos a l'aula són els currículums. Aquests s'utilitzen per a concretar els objectius d'aprenentatge de cada etapa educativa. A continuació, comparem com aborda el tema de les forces un currículum que ens resulta molt familiar, el de la Generalitat, amb un que ens és més desconegut però que recentment ha estat actualitzat a partir de les conclusions de diferents recerques, el dels Estats Units. Veurem que, tot i que ho expressen de maneres diferents i estructuren sistemes educatius diferents, els dos segueixen les pautes que marca la didàctica actual. Iniciem l'educació científica amb una idea molt bàsica i general que va evolucionant al llarg dels anys d'escolarització. Aquesta evolució va aprofitant contextos cada vegada més globals i eines cada vegada més abstractes i complexes.

L'ensenyament-aprenentatge de les forces i el moviment a Estats Units

El currículum de les assignatures dels Estats Units ha estat recentment actualitzat i ara s'estructura sota el paraigua dels 'Next Generation Science Standards' (www.nextgenscience.org). En aquesta pàgina web, a banda dels elements més centrals que es comenten en aquest article, s'hi poden trobar models d'activitats per fer a l'aula o propostes d'avaluació.

L'estructura de l'aprenentatge científic que proposa aquest currículum al llarg de totes les etapes educatives s'organitza en tres dimensions: *crosscutting concepts* (conceptes transversals), *science and engineering practices* (pràctiques de la ciència i l'enginyeria) i *disciplinary core ideas* (idees principals de la disciplina). L'objectiu d'estructurar-

ho en aquestes 3 dimensions té a veure amb el desenvolupament d'aquesta competència científica que ha de permetre utilitzar el contingut construït pels MCE per a interpretar i actuar sobre el món en pro del benestar d'un mateix, de la comunitat i de l'entorn natural que ens envolta. Cada activitat científica que es duu a terme a l'aula treballarà uns continguts a partir d'unes pràctiques científiques que ajudaran al desenvolupament d'aquesta competència.

En l'última dimensió, *disciplinary core ideas*, és on podem veure quina és l'evolució que es proposa de les idees bàsiques del MCE de forces i moviment. A continuació resumim les principals (les podeu veure totes en els arxius que podeu descarregar d'aquest [enllaç](#)).

Kindergarten (5 – 6 anys)

- Empènyer o llençar un objecte pot fer canviar la velocitat o direcció del seu moviment i pot començar a aturar-lo;
- Quan els objectes es toquen o xoquen, s'empenyen els uns als altres i poden canviar el seu moviment;

Elementary School (6 – 11 anys)

- Cada força que actua sobre un objecte en particular té una intensitat i una direcció. Un objecte en repòs té múltiples forces actuant a sobre d'ell, però la seva suma fa que la força neta que hi actua sigui nul·la. Les forces que no sumen zero poden provocar canvis en la velocitat o en la direcció del moviment (les addicions de forces són qualitatives i conceptuals.);
- Els objectes en contacte poden exercir-se forces mútuament;
- Les forces elèctriques i magnètiques entre un parell d'objectes no requereixen que els objectes estiguin en contacte. Les intensitats de les forces en cada situació depenen de les propietats dels objectes i de la distància que els separa i, en el cas de forces entre dos imants, de la orientació relativa entre ells;

Middle School (11 – 14 anys)

- Per a qualsevol parell d'objectes que interactuen, la força que exerceix el primer objecte sobre el segon té la mateixa intensitat que la força que el segon objecte exerceix sobre el primer, però en sentit oposat (Tercera llei de Newton);
- El moviment d'un objecte està determinat per la suma de les forces que hi actuen; si la força total sobre l'objecte no és zero, el seu moviment canviarà. Com més gran és la massa de l'objecte, més gran serà la força necessària per

a aconseguir el mateix canvi de moviment. Per a qualsevol objecte donat, una força més gran provoca un canvi de moviment més gran;

- Les forces que actuen a distància (elèctriques, magnètiques i gravitacionals) es poden explicar per camps que s'estenen a través de l'espai i es poden localitzar pel seu efecte en un objecte de prova (un objecte carregat, un imant o una bola, respectivament);

High School (14 – 18 anys)

- La segona llei de Newton prediu amb precisió canvis en el moviment dels objectes macroscòpics;
- Si un sistema interactua amb objectes externs a ell, la quantitat de moviment total del sistema pot canviar; tanmateix, els canvis de la quantitat de moviment dels objectes externs al sistema compensen els canvis anteriors;
- La llei de gravetat universal de Newton i la llei de Coulomb proporcionen els models matemàtics per descriure i predir els efectes de les forces gravitatòries i electrostàtiques entre objectes distants;
- Les forces a distància s'expliquen per camps (gravitacionals, elèctrics i magnètics) que impregnen tot l'espai i que poden transferir energia través d'aquest espai.

Com podem comprovar en aquest resum, les idees inicials es centren en comprendre que els objectes quan es toquen es poden empènyer o estirar i això causarà canvis en el seu moviment. A partir d'aquesta idea inicial que comença a treballar el fet que la força ve donada per la interacció entre 2 cossos, es va complicant el fet de la interacció. Arriba un moment que no cal que els cossos estiguin en contacte per a interaccionar entre ells i després, es pot veure el paper dels camps en aquestes interaccions a distància. També veiem com amb el pas dels anys es va introduint tot l'aparell matemàtic que dona suport a aquestes idees per tal de poder-hi treballar de manera cada vegada més precisa.

L'ensenyament-aprenentatge de les forces i el moviment a Catalunya

En el cas de Catalunya, el currículum de les diferents etapes educatives no especifica aquestes idees clau de manera tan detallada, però podem veure com aplica la mateixa idea del desenvolupament d'una idea central de manera cada vegada més abstracta i complexa.

En aquest cas, el currículum se sustenta en el desenvolupament de les diferents competències que s'haurien d'assolir posant en pràctica diferents continguts clau que s'organitzen en diferents àmbits i dimensions. Com hem fet en el cas anterior, especifiquem els continguts més destacats de les diferents etapes educatives obligatòries.

Educació Infantil (3 – 5 anys)

- Experimentació d'accions que provoquen canvis en objectes i materials, fent anticipacions i comparant els resultats.

Educació Primària (6 – 12 anys)

- Cicle Inicial: Observació i descripció d'interaccions que produeixen canvis en un sistema;
- Cicle Superior: Anàlisi dels efectes d'una força o de diverses forces sobre un objecte. Aplicació a l'estudi de màquines simples que s'utilitzen habitualment a l'escola o a casa;

Educació Secundària Obligatoria (12 – 16 anys)

- Les forces com a interacció. Exemples de la vida quotidiana. Mesura i representació gràfica. Tipus de forces (de contacte i a distància);
- Forces de la natura. La força gravitatòria, les forces elèctriques i magnètiques;
- Equilibri de forces, repòs i moviment rectilini uniforme. Relació entre força i deformació en els cossos elàstics;
- Efecte d'una força o suma de forces. Relació qualitativa i experimental entre força i moviment. Aplicacions a la vida quotidiana. Les forces com a vectors;
- Les lleis de Newton i la seva aplicació a la identificació i anàlisi de moviments i forces en la vida quotidiana. Situacions relacionades amb accidents de trànsit i anàlisi de mesures preventives.

Tot i que l'expressió dels continguts és molt més concisa veiem que segueix exactament el mateix esquema que proposa la didàctica de les ciències i altres currículums. Comença a treballar les forces des d'educació infantil amb la idea que la interacció entre cossos provoca canvis en els objectes. A partir d'aquí, a mesura que l'alumnat avança aquesta idea d'interacció es va fent més abstracta i complexa i les eines amb les que es treballa també.

COM PODEM AJUDAR A L'ALUMNAT A FER EVOLUCIONAR ELS SEUS MODELS?

L'acció de l'alumnat de transformar el seu model mental en el MCE és el que anomenem modelitzar.

El procés de modelització de l'alumnat fa uns anys que és objecte d'estudi amb l'objectiu d'intentar caracteritzar-lo i de buscar procediments que afavoreixen la construcció de models sòlids (Khine & Saleh, 2011). El que comparteixen tots els estudis és que és un procés que ha de protagonitzar l'alumnat, i que el professorat ha de guiar o acompanyar, però que és essencial que sigui l'alumnat qui reconstrueixi aquests models a partir de diferents eines i recursos. És important que el professorat tingui les eines per a identificar les característiques dels models mentals que va explicitant l'alumnat, per a poder trobar la millor manera d'ajudar a reconstruir-los.

Una de les eines que hem desenvolupat aquests anys a la UB, ha estat una caracterització dels diferents models de força que va expressant l'alumnat durant les sessions de classe. Per definir-la, s'han consultat diferents estudis que troben similituds entre alguns dels models de l'alumnat i els models científics pre-newtonians de força (Jammer, 1957; Sequeira & Leite, 1991). Basant-se en aquestes similituds, Brookes & Etkina (2009) presenten 4 models de força diferents que fan servir com a eina per a avaluar l'evolució dels models que explicita el seu alumnat, estudiants universitaris de física. Hem fet una adaptació d'aquestes categories, ja que el nostre alumnat s'expressa de manera molt menys tècnica i similar a com ho faria el de primària o secundària.

Presentem aquí els 4 models que hem definit a partir de l'adaptació dels de Brookes & Etkina (2009), ja que creiem que són d'utilitat per a poder avaluar de manera fàcil i no gaire complexa en quin punt es troba el model mental de força de cada estudiant en el moment en què s'expressa explicitant les forces que intervenen en una situació concreta. Els 4 tipus de models estan ordenats del més llunyà al MCE (el que considera que la força és una propietat dels objectes) al model que aspirem que assoleixi l'alumnat (el que considera que la força és una interacció entre 2 objectes).

Per a cada un dels models donem la definició de la força que concep el model i un exemple provinent de les expressions recollides en diferents qüestionaris que ha respost l'alumnat del Grau de Mestre de Primària de la UB analitzant diferents situacions.

Model Propietat – Objecte

- Es considera que la força és un element que tenen els cossos i que poden donar, acumular, rebre...

Exemple: '*... i la pilota porta amb ella la força associada que li permet desplaçar-se.*'

Model Voluntat – Desig

- Es considera que el cos és capaç de fer diferents accions per si mateix, que tenen els efectes que tindria la força. S'utilitzen verbs com aguantar o resistir.

Exemple: '*La cadira està aguantant el pes de la persona. I la persona continua aguantant el seu propi pes.*'

Model Agent – Acció

- Es considera que la força és un agent exterior al cos que és capaç d'actuar per si sol. És un element que es pot donar, acumular, rebre...

Exemple: '*El peu realitza una força que fa que la pilota es mogui.*'

Model Interacció

- Es considera que la força la fan dos objectes quan actuen l'un sobre l'altre. No pot existir si no hi ha la interacció.

Exemple: '*Tant jo com la pilota fem força ja que estem mantenint una interacció al posar en contacte el peu amb la pilota.*'

Aquesta eina s'ha utilitzat en una activitat molt simple que planteja a l'alumnat situacions tan quotidianes com particulars pel que fa a l'expressió del model de força que tingui cadascú.

Se'ls demana que expliquin de paraula i representin gràficament les forces que es donen en 3 situacions diferents:

- Una persona llença una pilota.
- Una persona atura una pilota al vol.
- Una persona està asseguda quieta en una cadira.

Totes tres situacions són molt quotidianes, i per tant, tothom es veu capaç d'explicitar quines forces s'estan donant. Al mateix temps, totes les situacions impliquen la interacció entre una persona i un objecte, però en cadascuna de les tres la persona té un rol diferent. En la primera té un rol totalment actiu, en la segona sembla que sigui més passiu però ha d'estar fent alguna acció i en la tercera el té totalment passiu.

Si l'alumnat té clar el model d'interacció respondrà quasi de la mateixa manera a les tres situacions, però sinó, és possible que de manera molt fàcil argumenti altres models de força. En aquest cas, serà on podrem anar guiant-lo en l'evolució d'aquests models.

CONCLUSIONS

Les forces i els seus efectes sobre els objectes sempre seran un contingut difícil de comprendre ja que no les podem veure ni tocar. A més de ser idees molt abstractes són anti-intuïtives i, per tant, la reconstrucció de models que plantegem a l'aula no serà senzilla.

D'altra banda, tota la recerca desenvolupada ens dóna eines suficients per poder guiar aquest treball de modelització des dels models mentals propis de l'alumnat fins al MCE. Una de les més importants és el fet d'orientar el procés d'ensenyament-aprenentatge a la construcció d'aquestes grans idees que desencadenen la comprensió de fets del nostre entorn. Veiem que aquestes grans idees es comencen a construir des d'educació infantil i que van evolucionant. Si trobem alumnat d'etapes educatives superiors que no ha assolit els conceptes científics més fonamentals que estan previstos per les primeres edats, hem de tornar a reforçar aquestes primeres idees que seran el fonament per a poder completar la construcció del MCE.

Hem vist que les primeres idees que s'han de treballar, identifiquen les forces com la interacció entre dos cossos que s'empenyen o s'estiren mútuament. Aquesta és l'essència del MCE que volem assolir. Si recordem l'ensenyament de forces que hem rebut, rarament posava el focus en els objectes que interaccionaven entre ells, sinó que el posava en l'anàlisi de les forces que actuaven sobre un cos en concret. Modificar aquest focus ja és una primera manera potent de guiar a l'alumnat en la construcció cap a un model que entengui la força com una interacció entre cossos. Per exemple, si enlloc de parlar del pes com un efecte de la gravetat, en parlem com un efecte de la interacció entre la Terra i nosaltres, estem fent un canvi subtil de mirada que facilita la construcció d'aquest model d'interacció.

A la vegada, posar l'èmfasi en la interacció entre cossos dóna eines a l'alumnat per estudiar un fenomen abstracte a partir de cossos tangibles i concrets. Fet que permetrà construir una idea molt simple de força a les primeres edats: 'Una força es dóna quan dos cossos s'empenyen o s'estiren entre ells.' Aquesta simple idea, és la que anirà evolucionant i acabarà sent el MCE de força. La complicarem introduint que les interaccions entre cossos també es poden donar a distància; que tot i que les forces que s'exerceixen entre sí dos cossos que interaccionen són iguals, els efectes que tenen a sobre ells poden ser molt diferents entre sí; o que les forces que actuen sobre els cossos, en funció

de la seva composició, poden tenir efectes sobre el seu moviment i deformació d'aquests cossos.

Que el professorat sigui un bon guia dependrà que tingui molt clar el camí que ha de seguir el seu alumnat i que sàpiga veure en quin punt es troba la construcció dels seus models per a poder-los orientar de la manera més adequada. Esperem haver contribuït tant a una cosa com a l'altra amb el contingut d'aquest article.

Nota: Aquest article és fruit de la tesi doctoral que estic elaborant dins del Programa de Doctorat de Did. De les Ciències, Llengües, Arts i Humanitats de la Fac. d'Educació de la UB. La tesi està dirigida per la Dra. M. Castells i la Dra. M. Garcia-Milà. Està inclosa dins dels projectes de recerca EDU2013-47593-C2-2-P i EDU2015-66643-C2-1-P.

BIBLIOGRAFIA

- AAAS. (2013). Atlas of science, Volumes 1 and 2. Mapping K-12 science learning. Washington, DC: Author. Recuperat de www.project2061.org/publications/atlas/default.htm
- Alonzo, A.; Steedle, J.T. (2009). *Developing and Assessing a Force and Motion Learning Progression*. Science Education, 93, 389 – 421. doi: <https://doi.org/10.1002/sce.20303>
- Alonzo, A.; Gotwals, A. (2012). *Learning Progressions in Science*. Sense Publishers.
- Brookes, D.T.; Etkina, E. (2009). "Force," ontology, and Language. Physical Review Special Topics Physics Education Research, 5, 010110. doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.010110>
- Driver, R.; Guesne, E.; Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- Espinet, M.; Izquierdo, M.; Bonil, J.; Ramos De Robles, S.L. (2012). *The Role of Language in Modeling the Natural World: Perspectives in Science Education*. Fraser, B.J. et al. (eds.). *Second International Handbook of Science Education*. Springer International Handbooks of Education. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_89
- Greca, I.M.; Moreira, M.A. (2001). *Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics*. Science Education, 86, 106 – 121. doi: <https://doi.org/10.1002/sce.10013>
- Halloun, I.A.; Hestenes, D. (1985). *Commons sense concepts about motion*. American Journal of Physics, 53, 1056 – 1065. doi: <http://dx.doi.org/10.1119/1.14031>

- Harlen, W. (Eds). (2010). *Principles and Big Ideas of Science Education*. Science Education Programme (SEP) of IAP. doi: <https://www.ase.org.uk/download/file/fid/6741>
- Harlen, W. (Eds). (2015). *Working with Big Ideas of Science Education*. Science Education Programme (SEP) of IAP. doi: <https://www.ase.org.uk/download/file/fid/6740>
- Ioannides, C.; Vosniadou, S. (2001). *The changing meanings of force: From coherence to fragmentation*. Cognitive Science Quarterly, 2(1), 5 – 62.
- Izquierdo-Aymerich, M.; Adúriz-Bravo, A. (2003). *Epistemological Foundations of School Science*. Science Education, 12, 27 – 43. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Jammer, M. (1957) *The concepts of force*. Harvard University Press.
- Khine, M.S.; Saleh, I.M. (Eds). (2011). *Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry*. Springer.
- Oh, P.S.; Oh, S.J. (2011). *What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview*. International Journal of Science Education, 33:8, 1109 – 1130. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Reiner, M.; Slotta, J.D.; Chi, M.T.H., Resnick, L.B. (2000). *Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions*. Cognition and Instruction, 18, 1 – 34. doi: https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1801_01
- Sequeira, M.; Leite, L. (1991). *Alternative conceptions and history of science in physics teacher education*. Science Education, 75(1), 45 – 56. doi: <https://doi.org/10.1002/sce.3730750105>